

IAP8 Rec'd PCT/PTO 08 DEC 2005

## 明 細 書

## ガラスの切断方法及びその装置

## 技術分野

- [0001] 本発明は、ガラスの切断方法及びその装置に関し、詳しくは、紫外線領域のパルスレーザ光を用いるガラスの切断方法及びその装置に関するものである。

## 背景技術

- [0002] 従来一般的なガラスの切断方法として、図11に示すようにダイヤモンド刃、超高刃等の刃61により、ガラス60の表面にスクライブ線(切り込み線)62を入れ、その後、裏面よりブレイク力(衝撃分断力)63を付与し、スクライブ線62に沿ってガラス60を切断するものが知られている。

- [0003] また、レーザを使用するガラスの切断方法も知られている。

特許文献1に示されるものは、図12に示すようにガラス60に対して比較的高い吸収性を有する赤外線レーザ74を楕円形状に整形させて照射し、レーザ照射部の後側近傍を冷媒75(水性冷却剤)によつて冷却する。すなわち、予め、ガラス60の切断したい部分に初期クラックを手作業にて作製し、その部分からレーザ74を照射すると共に、照射部の後側近傍を液体(又は気体)からなる冷媒75によつて冷却しながら、両者をガラス60上で走査する。これにより、ガラス60の内部の熱歪みによつて初期クラックが切断したい方向に進展し、ブラインドクラックを深さ方向に発生させスクライブ線72(野書き線)が形成される。スクライブ線72の形成後、ガラス60の裏面からブレイク力73を作用させ、ブラインドクラックに曲げモーメントを付与することにより、ガラス60が切断される。

- [0004] 特許文献2に示されるものは、図12に示す赤外線レーザ74に代えて、光子エネルギーの高い紫外線レーザを用いるもので、1つの紫外線レーザをレンズで集光し、ガラス内部の分子結合を直接分断することにより、初期クラックを作ることなく、スクライブ線を形成する方法であり、冷媒75の介在はない。なお、ブレイクには、機械的衝撃ではなく、赤外線レーザを用いている。この方法にあつては、スクライブ線の形成に際して紫外線レーザによつてガラス体を昇華させ、蒸発・飛散させるので、削り屑のよ

うな後工程で障害となる塵等を発生させ難い、としている。

特許文献1:特開平9-150286号公報

特許文献2:特開平5-32428号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] ダイヤモンド刃、超高刃等の刃61を用いる切断方法にあつては、スクライブ時に、ラテラルクラック(横方向クラック)やマイクロクラックを生じ、ガラス強度を大きく低下させてしまう欠点があり、また、パーティクルや活性化したカレットが発生し、ガラス表面に強固に付着する欠点があり、洗浄工程が必要になる。更に、刃61は消耗品であり、交換のたびに切断装置が停止するという欠点もある。
- [0006] これに対し、赤外線レーザを用いる切断方法にあつては、切断部のマイクロクラックの発生やパーティクルの発生は比較的抑えられるものの、スクライブ線の開始部に初期クラックを作らなければならない。このため、切断作業が煩雑であるのみならず、例えば交差するスクライブ線を形成しようとする場合、1つのスクライブ線を形成した後、次に交差するスクライブ線を形成しようとすると、交差する点においてスクライブ線の進展が難しくなるため、再度、交差する点に初期クラックを作らなければならない、作業が著しく煩雑になる。また、初期クラックをスクライブ線に進展させるためのレーザ強度と冷却条件の選定が大変難しい。
- [0007] 他方、特許文献2に示されるもののように紫外線領域のレーザを用いる場合、ガラスとレーザとに相対移動を与え、レーザを1行程で照射してガラスの切断すべき部分に所要のスクライブ線を形成することが作業能率及び切断面の良好・均一さを確保する上で望まれるが、このようにレーザを1行程で照射してスクライブ線を形成する場合、ガラス切断後のガラス曲げ強度が50MPa以下程度であり、例えば液晶パネルガラス、太陽電池パネルガラスとしての取り扱い中に不用意に割損し易いという技術的課題が存在していた。
- [0008] 本発明者等は、この紫外線レーザを用いる場合のガラス強度の向上について追求し、ガラス強度を著しく低下させる原因が、ガラスを1方向に1行程で移動させながら紫外線レーザを照射するとき、スクライブ溝内に再溶融ガラスが付着したり、底面にノ

コギリ歯状のクラックが発生することによってスクライブ溝に凹凸を生ずる不整状態にあることを見出した。

- [0009] 更に、このスクライブ溝の不整状態は、不適性な熱エネルギーの付与に原因があることを知得した。特に、特許文献2に示されるもののよう従来使用されている紫外線領域のレーザは、パルス幅は短いものでも数十ナノ秒( $n: 10^{-9}$ )程度であり、励起子の格子振動による緩和時間、約100ピコ秒( $p: 10^{-12}$ )以下に比べ、約10倍以上長い場合、熱エネルギーに変換される割合が大きくなる。その結果、スクライブ溝に凹凸の不整状態を生じ、分断後のガラスの曲げ強度が、50MPa以下程度にしか得られない。

#### 課題を解決するための手段

- [0010] 本発明は、このような従来の技術的課題を解決するためになされたもので、その構成は次の通りである。

請求項1の発明は、ガラス4の切断すべき部分に、パルスレーザ2を1行程の相対移動で照射してスクライブ線7を形成した後、該スクライブ線7にブレイク力を作用させて切断するガラスの切断方法であつて、前記パルスレーザ2として紫外線領域を用い、各照射箇所でのパルス数の合計が2667～8000パルス数の範囲となるように該パルスレーザ2を相対移動させながら照射して、ガラス4の厚さの1.8～6.3%の範囲の深さに前記スクライブ線7を形成することを特徴とするガラスの切断方法である。

ガラス4の厚さの1.8～6.3%の深さにスクライブ線7を形成しながら、目標ガラス強度:120MPa以上を確保するために、ガラス4の同一個所へのパルスレーザ2の照射パルス数の合計を最大で8000パルスとし、また、同照射パルス数の合計を最小で2667パルスとした。

請求項2の発明は、前記パルスレーザ2のパルス幅が100ピコ秒未満であることを特徴とする請求項1のガラスの切断方法である。

請求項3の発明は、前記パルスレーザ2が、Nd:YAGレーザ、Nd:YVO4レーザ又はNd:YLFレーザの第3高調波、第4高調波又は第5高調波であることを特徴とする請求項1又は2のガラスの切断方法である。

請求項4の発明は、前記パルスレーザ2の繰り返し周波数が、1MHz以上であるこ

とを特徴とする請求項1, 2又は3のガラスの切断方法である。

請求項5の発明は、ガラス4の切断すべき部分に、パルスレーザ2を1行程の相対移動で照射してスクライブ線7を形成した後、該スクライブ線7にブレイク力を作用させて切断するガラスの切断装置であつて、

紫外線領域のパルスレーザ2を発生するレーザ発振装置1と、ガラス4を載置して移動する移動台5とを備え、移動台5を移動させながら、パルスレーザ2を各照射箇所でのパルス数の合計が2667～8000パルス数の範囲となるように照射して、ガラス4の厚さの1.8～6.3%の範囲の深さにスクライブ線7を形成することを特徴とするガラスの切断装置である。

#### 発明の効果

- [0011] 独立請求項1及び5に係る発明によれば、ガラスの切断すべき部分にパルスレーザを照射してスクライブ線を形成するとき、パルスレーザとして紫外線領域を用い、ガラスの各照射箇所でのパルス数の合計を2667～8000パルス数の範囲にすると共に、ガラスの厚さの1.8～6.3%の深さにスクライブ線を形成する。
- [0012] これにより、紫外線領域の適性な熱エネルギーのパルスレーザを多数回照射して所定深さのスクライブ線を形成することになり、スクライブ溝内に再溶融ガラスが付着したり、底面にノコギリ歯状のクラックが発生することが良好に抑制される。また、パルスレーザを1行程の相対移動で照射してスクライブ線を形成するので、スクライブ線が速やかかつ正確に形成される。紫外線レーザは、光子エネルギーが高く、ガラス内部の分子結合を直接分断するので、初期クラックを作ることなく、スクライブ線を能率的に形成することができる。その結果、切断後のガラス曲げ強度を著しく高め、液晶パネルガラス、太陽電池パネルガラス等としての正常な使用中に不用意に割損するという不具合を事実上解消させることができる。具体的には、ガラス曲げ強度を50MPa以下程度から150MPa以上(約3倍以上)に向上させることができる。

#### 図面の簡単な説明

- [0013] [図1]本発明の1実施の形態に係るガラスの切断方法に使用する切断装置を示す概略図。
- [図2]同じくガラスの切断部を示す断面図。

[図3]同じくパルスレーザの重ね合わせ状態を示す説明図。

[図4]同じく移動台速度－スクライブ深さ及びガラスの厚さに対するスクライブ深さの割合を示す線図。

[図5]同じく移動台速度、照射回数、照射エネルギー及び照射エネルギー密度－ガラスの曲げ強度特性を示す線図。

[図6]同じく移動台の速度を80mm/sとしてスクライブ線を形成し、ブレイク力を作用させてスクライブ線に沿って切断したガラス断面のスクライブ線付近の顕微鏡写真を模式的に示す図。

[図7]同じく移動台の速度を160mm/sとしてスクライブ線を形成し、ブレイク力を作用させてスクライブ線に沿って切断したガラス断面のスクライブ線付近の顕微鏡写真を模式的に示す図。

[図8]同じく移動台の速度を240mm/sとしてスクライブ線を形成し、ブレイク力を作用させてスクライブ線に沿って切断したガラス断面のスクライブ線付近の顕微鏡写真を模式的に示す図。

[図9]同じくピコ秒レーザ及びナノ秒レーザの周波数 $f$ 、繰り返し周期 $T$ 及びパルス幅 $\tau$ を示す説明図。

[図10]同じくピコ秒レーザ及びナノ秒レーザでの切断によるガラス曲げ強度を示す図。

[図11]従来の切断方法を示す斜視図。

[図12]従来の他の切断方法を示す斜視図。

### 発明を実施するための最良の形態

- [0014] 本発明は、パルスレーザとして紫外線領域を用い、各照射箇所でのパルス数の合計が2667～8000パルスの範囲となるようにパルスレーザを相対移動させつつ照射し、ガラスの厚さの1.8～6.3%の深さにスクライブ線7を形成するガラスの切断方法と装置を提供することを目的とする。

### 実施例

- [0015] 図1～図9は、本発明に係るガラスの切断装置の1実施の形態を示す。図1中において符号1はレーザ発振装置を示し、このレーザ発振装置1は、パルス幅が100ピコ

秒未満(例えば図9(B)に示すように $\tau = 15\text{ps}$ )の紫外線領域のレーザからなるパルスレーザ2を射出させる。パルスレーザ2の繰り返し周波数は、 $10\text{MHz}$  ( $10 \times 10^6 \text{ Hz}$ )以上(例えば図9(B)に示すように $f = 80\text{MHz}$ )である。紫外線領域のパルスレーザ2としては、Nd:YAGレーザ、Nd:YVO4レーザ又はNd:YLFレーザの第3高調波、第4高調波又は第5高調波を使用することができる。これらの短波長の紫外線領域のレーザは、1光子のエネルギーが大きく、光化学的分解加工が可能であり、適正なエネルギー密度で適正な照射時間及び回数を与えれば、周囲への熱影響が小さい、精密微細な加工が可能である。

- [0016] レーザ発振装置1から射出されるパルスレーザ2は、ミラー10によつて $90^\circ$  方向を変え、ビームエキスパンダー11によつてビーム径を拡げた後、集光レンズ3によつて絞り、平板状のガラス4の1側表面部の切断すべき線状部分に照射する。ガラス4は移動台5の上に載置され、移動台5は、パルスレーザ2に関して所定速度で所定方向(図1上で紙面に垂直方向)に連続的に相対移動する。実際には、ガラス4を載せた移動台5が駆動装置(図示せず)によつて駆動され、パルスレーザ2に対して図2上でX方向に設定した所定速度で直線移動する。なお、パルスレーザ2のエネルギープロファイルは、平坦なライン状ビームであつても良い。この種のパルスレーザ2は、パルスレーザの分割重ね合わせ、パルスレーザのカリドスコープによる整形、又はキノフォルム位相制御板による整形により、形成することができる。
- [0017] パルス動作を行うパルスレーザ2は、移動台5上のガラス4をスクライブ方向Xに1行程移動させながら、かつ、適当に重ね合わせながら照射させる。すなわち、図3に示す円形ビームからなるパルスレーザ2は、所定間隔で重ね合わせて所定の重ね合わせ回数(照射回数)となるように、スクライブ方向Xの相対移動速度を設定する。従つて、パルスレーザ2の照射によつて形成されるスクライブ線7は、ガラス4を載置する移動台5のX方向への1回の移動によつて所要深さが与えられる。なお、パルスレーザ2は、円形ビームに代えて線状ビーム、楕円形状ビーム等に整形して用いることも可能である。このとき、線状ビーム又は楕円形状ビームの長手方向を、スクライブ方向Xに合致させる。いずれの形状にしても、所定間隔で重ね合わせて所定の重ね合わせ回数となるように、スクライブ方向Xの相対移動速度を設定する。

- [0018] パルス幅が100ピコ秒未満のいわゆるピコ秒レーザからなるパルスレーザ2の照射によれば、1つのパルス当たりのエネルギー(J/Pulse)が、同じ紫外線領域のいわゆるナノ秒レーザ(図9(A)に示す)に比して極めて(約1/1000倍ほど)小さいので、照射された箇所のパルスレーザ2がガラス4の蒸散に効果的に寄与し、その後のガラス4への熱拡散が少なく、ガラス4の熱影響による溶融が抑制される。
- [0019] ここで、ガラス4に施すべきスクライブ深さの範囲について検討する。スクライブ線7が浅過ぎるときは、ブレイク力の作用によつて通常の厚さのガラスを良好に切断することができない。このため、図4にも示すように、ブレイク可能な厚さとして、ガラス4の厚さに対する割合の下限を1.8%とする。一方、ガラス4の厚さに対するスクライブ線7の深さの割合の上限は、6.3%とする。これは、後述する割損の原因を避けるためであり、無用なスクライブ作業を避けることにもなる。
- [0020] 図1に示すガラスの切断装置を用い、Nd:YAGレーザを生ずる出力:8Wのレーザ発振装置1からパルスレーザ2(波長:355nm)を実際に射出させ、ガラス4にスクライブ線7を形成した後にブレイク力を作用させ、スクライブ線7に沿つてガラス4を切断した。ブレイクには、機械的衝撃力を用いたが、ブレイク工程でのブレイク手段には、従来公知の手段の採用が可能であり、機械的衝撃、液体又は気体からなる冷媒による冷却、赤外線レーザ照射のいずれを用いることもできる。
- [0021] スクライブ線7の形成に際しては、パルスレーザ2を集光レンズ3によつて直径24 $\mu$ mに絞り、ガラス4の1側表面部に円形状に照射した。パルスレーザ2は、図9(B)に示すようにパルス幅 $\tau$ :15ps、繰り返し周波数f:80MHz、繰り返し周期T:12.5nsである。一方、ガラス4は、厚さ:630 $\mu$ mのものを用い、ガラス4の厚さに対して1.8%(約11 $\mu$ m)~6.3%(約40 $\mu$ m)の範囲となる深さのスクライブ線7を形成した。なお、図1に示す装置は、ブレイク力を与えないので、厳密にはガラスの切断装置の内のスクライブ装置である。
- [0022] また、ガラス4を載置する移動台5(ステージ)の速度は、80~720mm/sの範囲で80mm/s毎に変化させた。その結果を図5に示し、ブレイク力を作用させてスクライブ線7に沿つて切断した断面の顕微鏡写真の結果を図6、図7、図8に模式的に示す。

- [0023] 移動台5の速度:80mm/sでは、図6に示すようにガラス4の表面4aに形成したスクライブ線7からガラス4の厚さ方向の内部に延びる大きなクラックA1, A2が生じ、移動台5の速度:160mm/sでは、図7に示すように同様の方向に延びる小さなクラックB1, B2, B3が生じたが、移動台5の速度:240mm/s以上では、ほぼ図8に示すようであり、ガラス4の表面4aに形成したスクライブ線7の周囲にクラックは事実上認められなかった。なお、図6により、移動台5の速度:80mm/sでは、110  $\mu$ mほどの深さのスクライブ線7から200  $\mu$ mほどの深さ方向のクラックA1, A2が生じていることが分かる。このクラックA1, A2, B1, B2, B3が、切断後のガラス4の破損原因となる。
- [0024] 一方、パルスレーザ2のガラス4への1行程の照射により、スクライブ線7の深さ:1.8%を与えたところ、図4に示すように移動台5の速度:720mm/sであり、スクライブ線7の深さ:6.3%を与えたところ、図4に示すように移動台5の速度:240mm/sであった。このガラス4の厚さに対するスクライブ線7の深さの割合の上限:6.3%(移動台5の速度:240mm/s)は、上述したように無用なスクライブ作業を避けるためにも重要であるが、図5に示すようにガラス4の曲げ強度が著しく減少することを避ける上で重要である。
- [0025] ガラス4の曲げ強度が著しく減少する原因として、スクライブ線7の底面からガラス4の内部に延びるクラックA1, A2, B1, B2, B3の発生に加え、スクライブ溝内への再溶融ガラスの付着があることが、実験の結果によつて確認されている。ガラス4の同一個所へのパルスレーザ2の照射パルス数が所定回数(8000パルス)を超えると目標ガラス強度:120MPaが確保できなく、不用意な割損の原因となる。
- [0026] そこで、このようなパルスレーザ2の相対的1行程の照射によつてスクライブ線7の深さ:1.8%~6.3%を与えるように移動台5の速度:240~720mm/sを変化させ、これらの速度:240~720mm/sに対応して移動台5上のガラス4の同一個所に照射されるパルスレーザ2のパルス数を求めたところ、図5に示すように2667~8000回の範囲になった。同様に、パルスレーザ2のパルス数の合計に対応する照射エネルギーは0.333~0.111(J/cm)になり、照射エネルギー密度( $D=N$ (照射回数) $\times e$ (1パルスのエネルギー密度))は176~58.7(J/cm<sup>2</sup>)になった。照射エネル



ギーは、スクライブ線7の単位長さ当たり照射されたエネルギーであり、パルスレーザ2のビーム径に応じた幅のスクライブ線7が形成されるとき、パルスレーザ2のビーム径の大きさに関わらず、レーザ出力値と移動台5の速度とに依存するパルス数の合計に対応する値である。

[0027] ブレイク力を作用させて切断した後のガラス4の曲げ強度は、液晶パネルガラス、太陽電池パネルガラス等のガラス基板としての一般的使用において、120MPa以上であることが望まれるが、図5から分かるようにパルスレーザ2の照射パルス数を2667～8000回の範囲内に設定すれば、120MPa以上とする切断が可能である。このように、目標ガラス強度：120MPaを確保するために、パルスレーザ2の同一個所への照射パルス数の合計を最大で8000パルスとし、また、ブレイクを可能とするために同照射パルス数の最小を2667パルスとした。これを図5中に許容の範囲として示す。

[0028] しかし、ガラス4の同一個所にパルスレーザ2が2667～8000パルス数になるように照射して、ガラス4の厚さの1.8～6.3%の範囲の深さ(図4に示す許容の範囲)にスクライブ線7を形成させることにより、スクライブ線7の溝内に再溶融ガラスが付着したり、底面にノコギリ歯状のクラックA1, A2, B1, B2, B3が発生する凹凸の不整状態が良好に防止される。なお、移動台5の速度を240mm/sに代えて280mm/sに設定すれば、ガラス強度：約220MPaが得られるので、ガラス曲げ強度が、従来の50MPa以下程度から4倍以上に向上する。ところで、分断後のガラス曲げ強度(MPa)は、図10に示すようにいわゆるピコ秒レーザでスクライブしたものでは45～250MPaの範囲で得ることができるが、いわゆるナノ秒レーザでスクライブしたものでは40～50MPaである。また、従来の数十ナノ秒程度のパルス幅のレーザを用い、同様のガラス4の厚さの1.8～6.3%の深さにスクライブ線を形成するときのパルス数の合計は、3～12パルス数程度である。

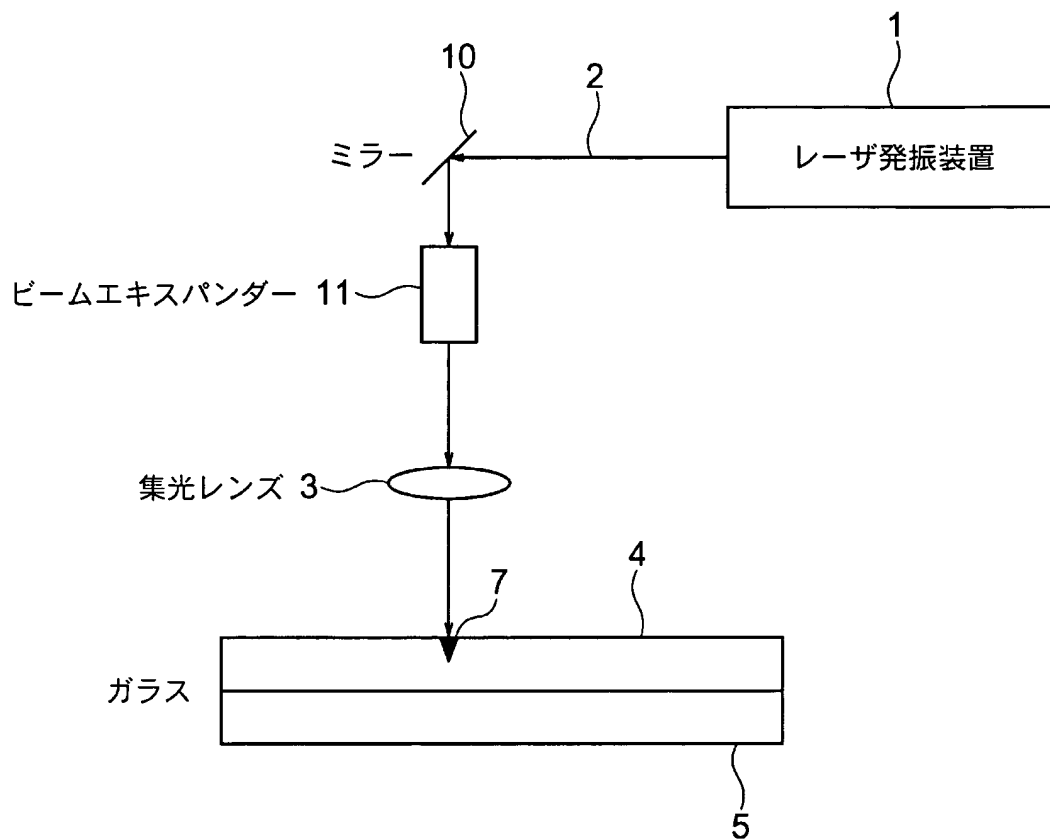
#### 産業上の利用の可能性

[0029] 本発明は、二層の張り合わせガラスに限らず、二層以上の張り合わせガラスにも適用可能である。

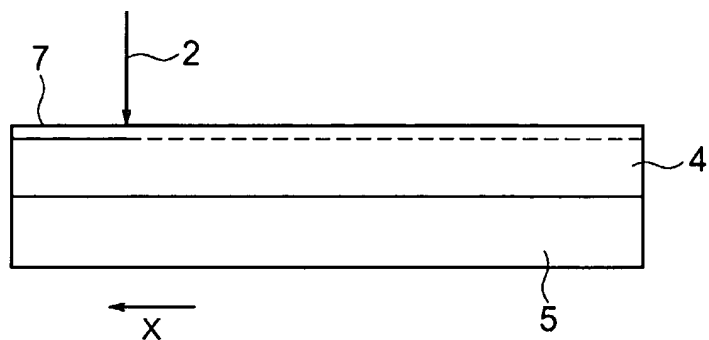
### 請求の範囲

- [1] ガラス(4)の切断すべき部分に、パルスレーザ(2)を1行程の相対移動で照射してスクライプ線(7)を形成した後、該スクライプ線(7)にブレイク力を作用させて切断するガラスの切断方法であつて、  
前記パルスレーザ(2)として紫外線領域を用い、各照射箇所でのパルス数の合計が2667～8000パルス数の範囲となるように該パルスレーザ(2)を相対移動させながら照射して、ガラス(4)の厚さの1.8～6.3%の範囲の深さに前記スクライプ線(7)を形成することを特徴とするガラスの切断方法。
- [2] 前記パルスレーザ(2)のパルス幅が100ピコ秒未満であることを特徴とする請求項1のガラスの切断方法。
- [3] 前記パルスレーザ(2)が、Nd:YAGレーザ、Nd:YVO4レーザ又はNd:YLFレーザの第3高調波、第4高調波又は第5高調波であることを特徴とする請求項1又は2のガラスの切断方法。
- [4] 前記パルスレーザ(2)の繰り返し周波数が、1MHz以上であることを特徴とする請求項1、2又は3のガラスの切断方法。
- [5] ガラス(4)の切断すべき部分に、パルスレーザ(2)を1行程の相対移動で照射してスクライプ線(7)を形成した後、該スクライプ線(7)にブレイク力を作用させて切断するガラスの切断装置であつて、  
紫外線領域のパルスレーザ(2)を発生するレーザ発振装置(1)と、ガラス(4)を載置して移動する移動台(5)とを備え、  
移動台(5)を移動させながら、パルスレーザ(2)を各照射箇所でのパルス数の合計が2667～8000パルス数の範囲となるように照射して、ガラス(4)の厚さの1.8～6.3%の範囲の深さにスクライプ線(7)を形成することを特徴とするガラスの切断装置。

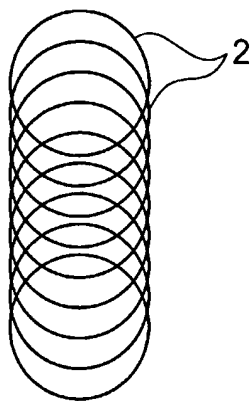
[図1]



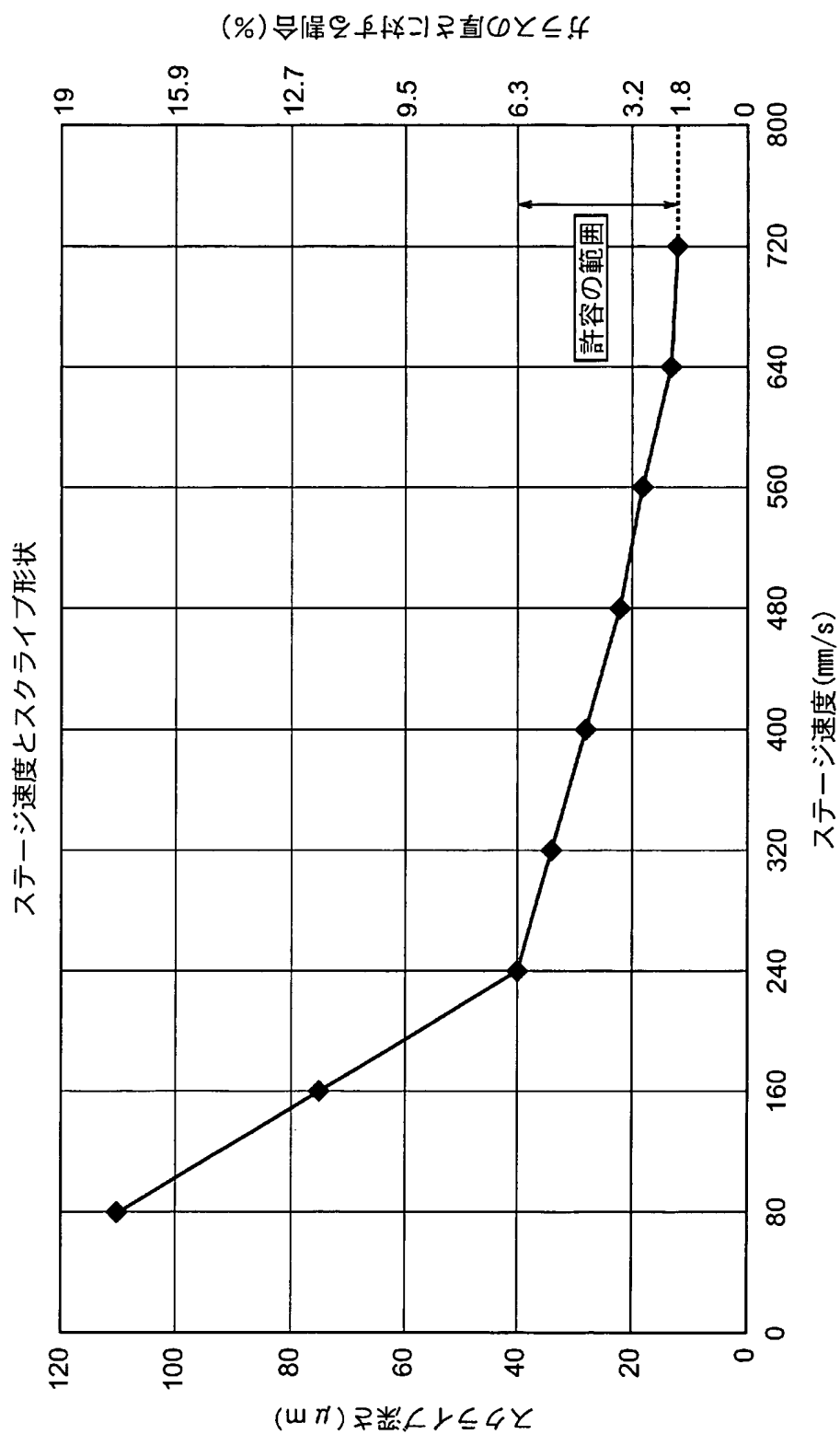
[図2]



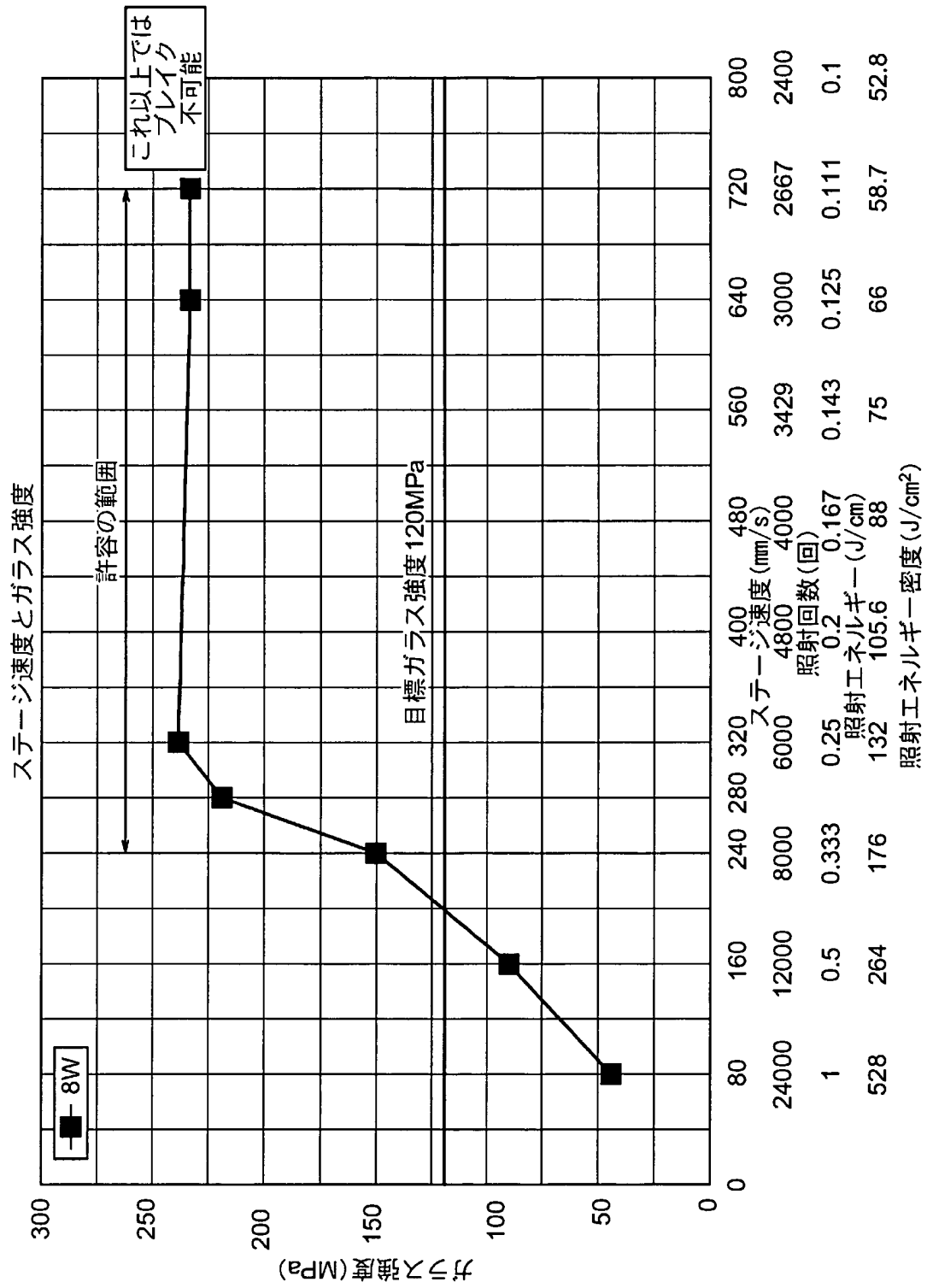
[図3]



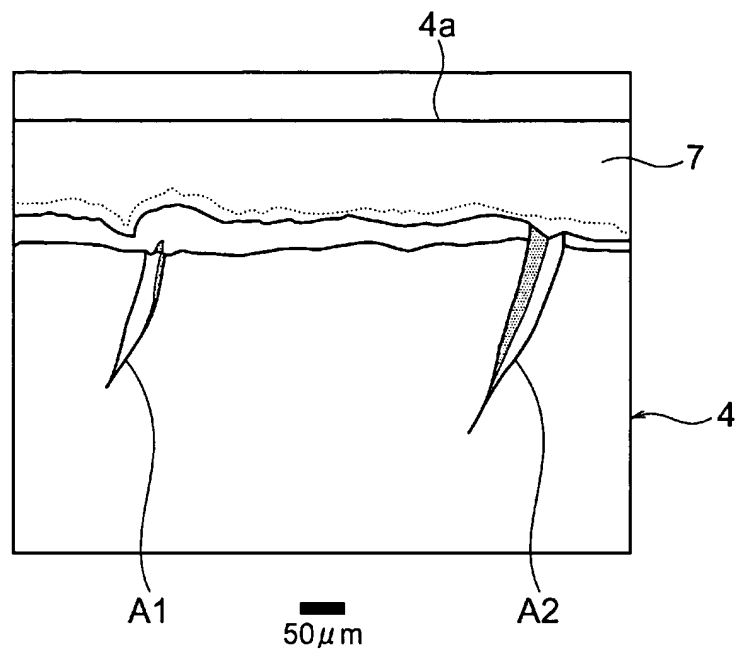
[図4]



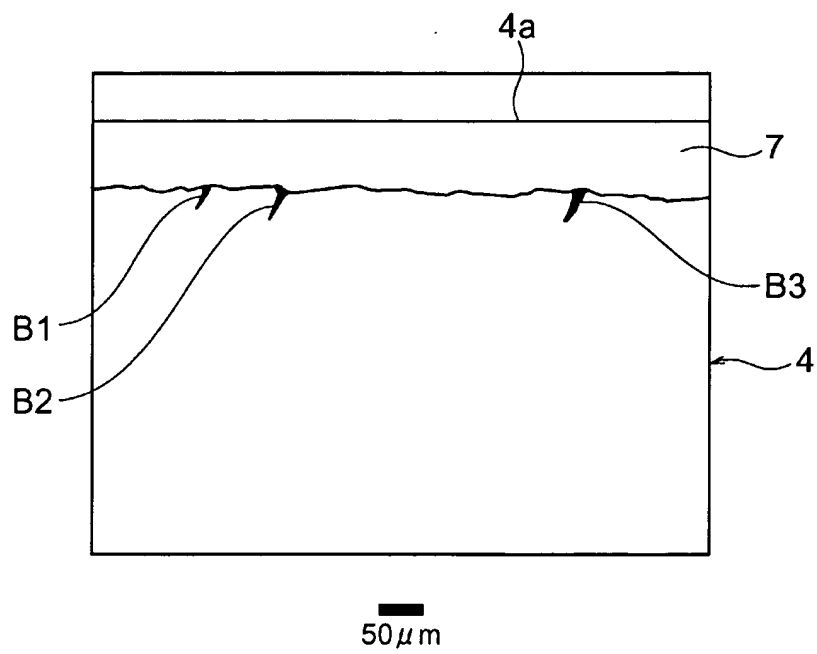
[図5]



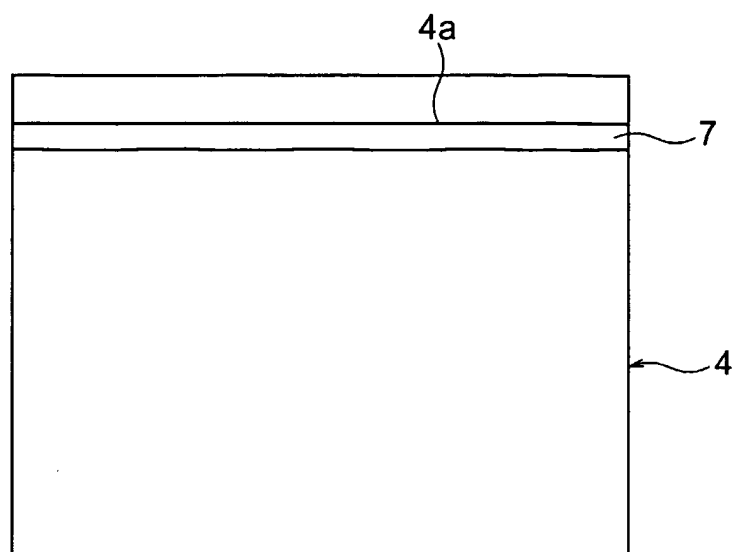
[図6]



[図7]



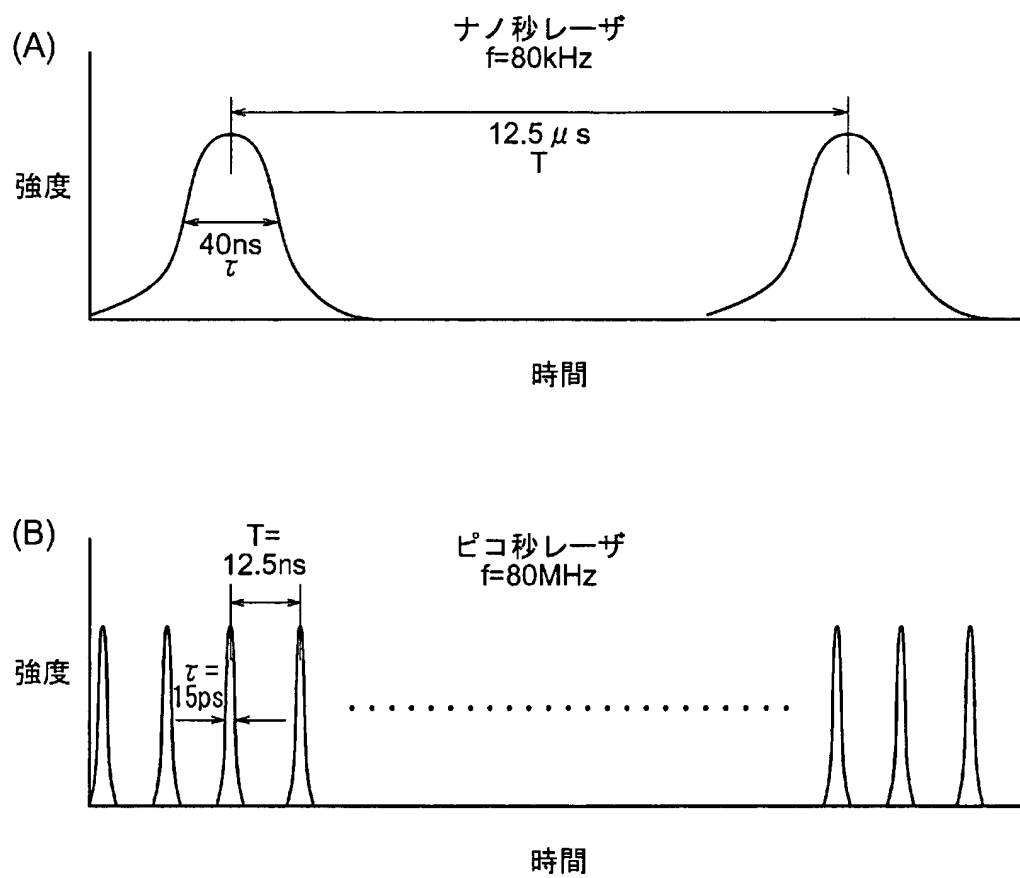
[図8]



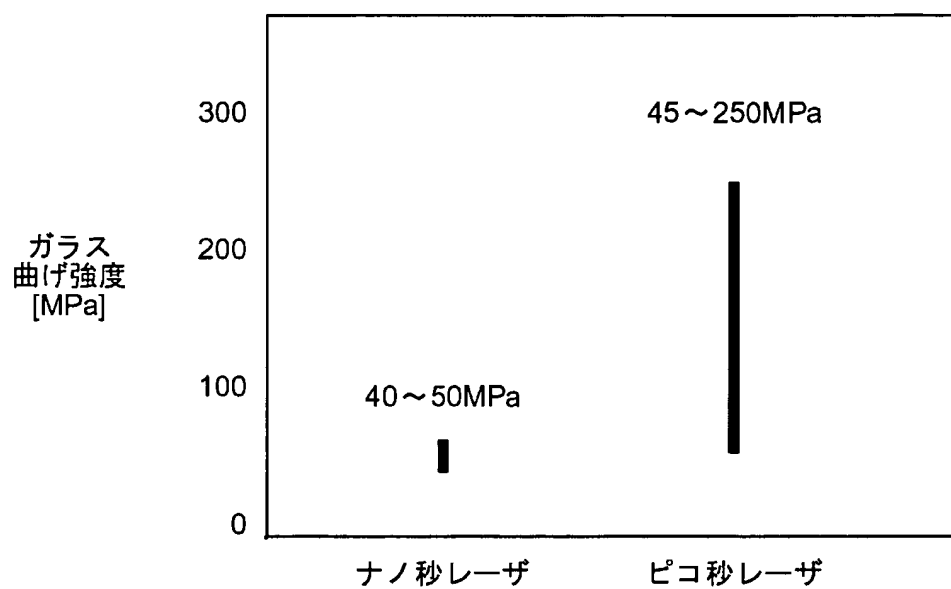
50  $\mu$ m



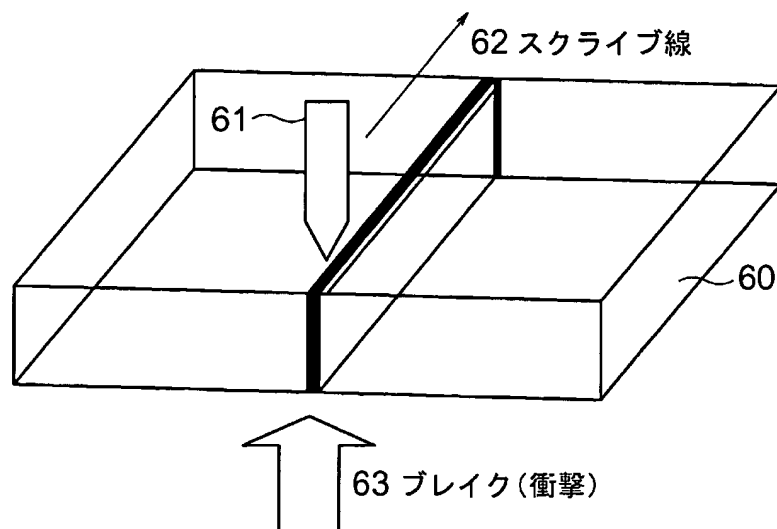
[図9]



[図10]



[図11]



[図12]

